

УДК 551.465

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАРСКОГО МОРЯ (НОВОЗЕМЕЛЬСКАЯ ВПАДИНА, ЖЕЛОБ СВЯТОЙ АННЫ)

© 2015 г. А. Г. Розанов

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

e-mail: rozanov@ocean.ru

Поступила в редакцию 12.02.2014 г., после доработки 31.03.2014 г.

Специфику северо-западной части Карского моря составляет расчлененность рельефа, представленного Новоземельской впадиной и желобом Святой Анны, куда речной вынос практически не доходит. Эти близко расположенные депрессии морского дна отличаются условиями осадконакопления, источниками осадочного материала и свойствами донных отложений, геохимические особенности которых, в частности окислительно-восстановительные свойства, представлены в настоящей статье.

DOI: 10.7868/S0030157415030156

Главным фактором осадконакопления в Карском море является поступление терригенного материала в виде взвесей, приносимых реками с юга (Обь, Енисей) (95%) [9] и морскими течениями с севера и запада из Баренцева моря. Смешение морских и пресных вод находит отражение в сложной и неоднозначной динамике Карского моря, изменяющейся не только от сезона к сезону, но и от года к году в зависимости от ледовой обстановки, климатических изменений и связанных с ними величин речного стока. Наибольшее внимание при изучении геохимии Карского моря всегда уделялось процессам смешения пресных и морских вод и соответствующим фронтальным зонам, где эти процессы выражены наиболее ярко. В настоящей работе мы рассмотрим геохимические особенности процессов осадконакопления и диагенеза донных отложений глубоководных районов, удаленных от области смешения, в частности отложений Новоземельской впадины (НЗВ) и желоба Святой Анны (ЖСА) (рис. 1).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы донных осадков были отобраны в 54-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2007 г. [18] с помощью дночерпателей и геологических трубок, в том числе трубок Ниёмисте, позволяющих производить одновременный отбор небольшого количества придонной воды над осадком. Влажность осадков определялась высушиванием образцов на воздухе до постоянного веса при 105°C. Окислительно-восстановительный потенциал (E_p) измерялся с помощью платиновых электродов [13]. Иловые воды отделялись от осадка путем центрифугирования. После фильтрации через мембран-

ные фильтры (Millipore, 0.45 мкм) в иловых водах определялись растворенные неорганические формы марганца (с формальдоксимом), железа (с феррозином), фосфатов и кремнекислоты [13]. Химические элементы в твердой фазе осадка определялись из сухих проб после кислотного разложения ($\text{HF} + \text{HClO}_4$) методом атомно-абсорбционной пламенной спектроскопии (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Новоземельская впадина (НЗВ), расположенная в непосредственной близости от о-вов Новой Земли к востоку, вблизи от зал. Благополучия, где

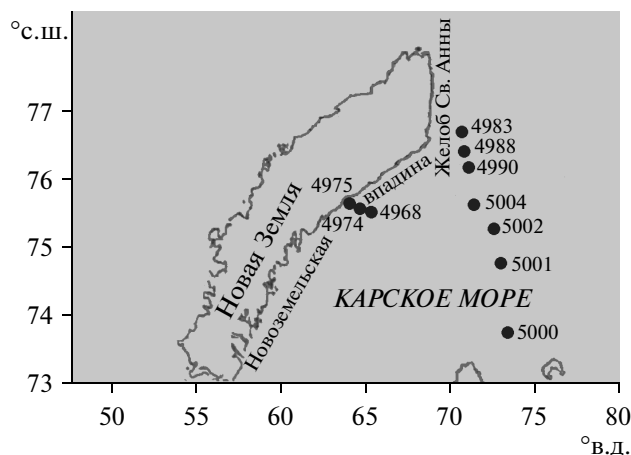


Рис. 1. Карта геохимических станций, выполненных в Новоземельской впадине и желобе Святой Анны (более бледным шрифтом отмечены станции, рассмотренные ранее [13]).

Таблица 1. Геохимические характеристики донных отложений (%) и иловых вод (мкМ) Новоземельской впадины и желоба Святой Анны (северо-западная часть Карского моря)

Орудие отбора	Горизонт, см	Описание осадка	E _{Пт} , мВ	Новоземельская впадина, в районе залива Благополучия							мкМ						
				H ₂ O	C _{орг}	CaCO ₃	Al	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	P	Si		
				%													
Новоземельская впадина, в районе залива Благополучия																	
Станция 4968. 75°23'.3 с.ш., 64°18'.8 в.д. Осевая часть. Глубина 360 м																	
ТН	15 см	Вода над осадком											0.01	0.1	0.01	0.68	16.3
	5 см	То же, больше мути														0.63	18.6
	0–5	Коричневый мягкий по всей колонке, в	+604	64.1	0.96	1.10	7.09	4.70	0.063	0.01	0.1	0.35	249				
	5–10	поверхностных горизонтах микрокон-	+582		1.02	1.03	8.26	6.03	1.020	0.01	4.7	0.10	226				
	10–15	креции (ЖМК)	+541				8.13	5.89	0.989	0.01	83.4	3.50	276				
	15–20		+526		0.80		8.17	5.96	0.954	0.01	126	3.04	223				
	25–30		+477				7.65	5.45	1.208	0.01	251						
ТБД	10–21	Коричневый алевроитово-глинистый с	+545	60.4	0.80	1.07	8.10	6.75	1.960	0.08	18.6	2.69	209				
	25–35	темным прослоем на 38–41 см	+545	58.3	0.78	0.50	8.60	6.80	1.380	0.01	73.0	2.80	249				
	35–47		+433	57.5	0.75	0.34	9.15	7.80	2.940	1.25	109	1.63	231				
	50–58	Светло-серый с коричневыми очень	+120	55.8	0.65	5.13	7.60	9.35	0.680	1.79	115	8.52	143				
		плотными комками															
	82–86	Более темный, черные примазки	+60	47.9			8.14	6.32	0.180	0.93	123	0.01	122				
	96–125	То же, более плотный	+30				8.37	6.74	0.052	0.01	141	0.01	141				
Станция 4974. 75°34'.8 с.ш., 64°09'.3 в.д. Склон впадины. Глубина 170 м	141–153	То же, комочки (FeS)	+40	48.4	0.39	0.25	8.62	6.80	0.190	0.31	82.9	0.58	129				
	153–170	Более темный, мягкий	+60		0.42		9.04	5.10	0.056	0.70	77.7	1.63	371				
	223–232	То же	+145	35.5	1.05	2.57	8.85	4.94	0.073	0.93	53.9	0.01	90.5				
	272–304	Более плотный (FeS)	+150				7.00	3.78	0.050	0.78	52.6						
	324–345	Очень плотный, галька	+160				7.25	3.94	0.05	6.23	19.3						
	0–5	Мягкий ил, книзу более плотный, серый	+497	43.6	0.85	11.12	7.54	4.93	0.380	0.01	0.1	6.19	499				
	5–10	с коричневым оттенком	+494	39.6	0.96	9.06	7.68	4.91	0.175	0.01	134	5.61	459				
ТБД	10–15		+487	38.4	0.96	6.31	7.36	4.71	0.410	0.01	91.8	5.72	221				
	10–18	Серый мягкий	+455	31.8	0.91	6.15	9.58	5.88	0.181	0.01	36.8	1.87	282				
	18–20	Серый с охристыми примазками, плот-	+448														
	20–25	ный, комки															
	25–32	Черный глинистый	+220														
32–61	То же	+136	35.3	1.06	3.47	9.87	4.50	0.051		11.3							
60–85	Гравийно-галечный (на 70%)	+60	16.6	1.18	9.13	8.76	3.78	0.094									
	Гидрогроиловый черный	+80	19.0	1.14	14.19	8.95	4.34	0.150	0.01	2.33							

Таблица 1. Продолжение

Орудие отбора	Горизонт, см	Описание осадка	$E_{рп}$, мВ	%										мкМ													
				H ₂ O	C _{орг}	CaCO ₃	Al	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	P	Si												
Станция 4975. 73°38'.7 с.ш., 64°03'.9 в.д. Шельф у впадины. Глубина 58 м																											
Дч	0–5	Серый мягкий, книзу уплотняется, од- нородный	+497	33.6	0.68	19.68	8.40	3.08	0.109	0.16	13.0	35.5	188														
	5–10		+150	35.9	0.63	19.52	8.70	4.02	0.094	0.01	0.1	0.01	216														
ТБД	10–15	Серый, далее с глубиной темнеет, на 24– 42 см много гальки	+130	32.0	0.88	16.37	9.10	4.07	0.077	0.01	83.2	0.01	239														
	10–24		+30	27.7	1.50	14.62	8.86	4.28	0.071	0.01	59.1	0.01	175														
	24–42		+74	19.0	1.31	10.71	9.30	4.48	0.088	0.01	42.6	0.01	131														
	42–59		+80	24.5	1.21	10.37	8.80	4.42	0.088	0.01	53.9	0.01	262														
Желоб Святой Анны (южная часть)																											
Станция 4983. 76°55'.5 с.ш., 70°17'.8 в.д. Глубина 550 м																											
ТН	0–4	Коричнево-серый, п/жидкий	+310	71.3	1.62	0.54	8.70	4.60	0.112	0.08	22.6	3.97	320														
	4–8	Серый, местами охристый, плотный, трубки полихет	+140	53.5	1.43	0.59	8.90	4.53	0.038	0.01	4.32	1.87	126														
ТБД	8–15	То же, более плотный	+150							0.01	1.33																
	5–9	Серый, п/жидкий	+100	48.9	1.40	0.41	9.10	4.24	0.037																		
	9–13	Более плотный, охристые включения, комковатый	+150	49.2	1.49	0.41	9.01	4.38	0.038	4.67	6.6																
	20–30	Более плотный, следы ГТ, много газа (метан), каверны	+80	47.2	1.67	0.41	9.15	6.79	0.038	0.01	0.1																
	80–90	То же	+64	44.9	0.99	3.00	8.45	3.70	0.038	0.01	5.0																
	115–125	То же, меньше газа	+60	45.0	1.30	1.07	8.50	4.28	0.039	0.01	3.7																
150–160	Увеличено количество ГТ	+100	42.9	1.21	0.41	8.70	4.53	0.041	0.01	8.3																	
		+40	35.3	0.55	0.59	7.63	4.24	0.047	0.01	11.3																	
184–206	Темно-серая, очень плотная глина, включения гальки	+100	22.4	0.52	0.84	6.35	2.84	0.054																			
Станция 4988. 76°35'.3 с.ш., 71°15'.4 в.д. Глубина 180 м																											
Дч	0–2	Серо-коричневый, п/жидкий, много живности	+494	42.8	0.58	1.16	6.20	4.44	0.135	0.01	0.1	1.17	282														
	2–5	Мягкий, серый	+180	39.6	0.54	2.00	6.15	4.39	0.068	0.16	55.4	0.82	194														
	5–10	Серый, более плотный	+40	35.5	0.56	0.50	6.00	3.80	0.037	2.49	15.5	0.01	143														

Таблица 1. Окончание

Орудие отбора	Горизонт, см	Описание осадка	E _П , мВ	%							мкМ				
				H ₂ O	C _{орг}	CaCO ₃	Al	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	P	Si
ТБД	10–22	Охристые полусухие комки, легкие пластинки (CaCO ₃ ?)	+190	28.5	0.52	1.91	9.25	4.87	0.041	0.01	0.1	0.01	0.01	96.7	
	22–33	Обводненный с включениями крупного алевролита	+25	20.9	0.23	1.57	4.30	2.0	0.024	0.01	0.1			20.9	
	33–45	Плотный, темно-серый	+100	23.2	0.39	1.07	5.65	2.85	0.036	0.46	0.1				
	70–80	То же	+2	18.3	0.30	1.41	5.47	2.94	0.040		0.1				
	90–100	То же	+110	18.5	0.27	2.32	5.41	3.28	0.064						
106–123	Очень плотная, темно-серая глина с алевроитом	+70	18.6	0.33	1.57	5.55	1.91	0.040							
Станция 4990. 76° 09' 0 с.ш., 72° 29' 7 в.д. Глубина 114 м															
ТН	0–3	Коричневый жидкий	+576	45.3	0.47	2.00	6.70	5.23	0.910	0.16	0.1	0.47		322	
	3–8	Серый более плотный с охристыми включениями	+70	41.2	0.48	0.75	6.92	4.77	0.067	0.16	59.6	0.01		220	
ТБД	8–15	Серый, плотный	+45	41.9	0.42	0.56	6.75	4.30	0.050		42.4	0.01		172	
	20–40	Тот же ил с примазками ГТ в нижней части	+60	34.9	0.41	0.50	6.78	3.89	0.053	1.26	80.5	0.01		132	
	40–105	То же с максимальным количеством ГТ, горизонт 40 см обводнен	–20	35.8	0.54	0.34	7.52	5.04	0.054	0.16	33.3	0.01		174	
	105–123	То же	+40	40.5	0.47	1.50	7.50	5.45	0.058	0.01	27.0				
	123–170	То же, меньше ГТ	+170	39.2	0.45	0.82	8.12	5.70	0.060		22.1				
	170–186	Плотный, редкие черные пятна ГТ	+40	36.8	0.48	1.41	7.40	8.13	0.057		10.6				
196–206	Коричнево-бурый с зеленым оттенком четко граничит	+110	26.7	0.52	0.75	7.10	3.54	0.032	0.01	4.88	1.40		299		
206–216	То же, менее плотный	+180	21.9	0.39	0.16	6.40	2.97	0.038	0.01	95.2	0.01		311		
222–235	То же	+160	20.3	0.27	0.16	6.42	2.85	0.043	0.01	13.3	0.01		304		

Примечание. Дч – дночерпатель, ТН – трубка Ниёмисте, ТБД – трубка большого диаметра, ГТ – гидротрилит, ЖМК – железомарганцевые конкреции.

Рис. 2. Геохимические параметры морской воды и донных осадков Новоземельской впадины в районе залива Благополучия: растворенные неорганические формы фосфора ($P-PO_4^{3-}$) и кремния ($Si-SiO_4^{4-}$) в морской (2-1 и 2-3) и иловой воде (2-2 и 2-4), мкМ, величины E_{Pt} (мВ) – 2-5, $C_{орг}$ – 2-6, марганец – 2-7 и железо – 2-9 в донных осадках (%с.в.) и в иловой воде (мкМ) – 2-8 и 2-10 соответственно.

выполнены исследования, достигает глубины 360 м. Гидрологический профиль впадины характеризуется верхним 10 м перемешанным слоем, резким термоклином, под которым в диапазоне 20–50 м располагается холодный промежуточный слой (ХПС, $-1.7^{\circ}C$), ниже – слой (70–140 м) более теплой воды ($-0.8^{\circ}C$), температура которого монотонно падает вплоть до дна ($-1.5^{\circ}C$). Предполагается, что глубинная вода НЗВ формируется под влиянием стекания холодной и соленой воды с шельфа Новой Земли в периоды активного льдообразования [5]. Напротив, формирование верхнего конвективного слоя (ВКС) происходит при таянии новоземельского ледяного массива и поступлении распресненных енисейских и обских вод на запад. Вдоль берега существует сильное Восточно-Новоземельское течение, направленное на северо-восток, которое с удалением от берега уходит под поверхность. Глубже 100 м на западном склоне впадины геострофические расчеты фиксируют противотечение, направленное на юго-запад. Сложная гидродинамика предполагает возможное поступление осадочного материала в НЗВ как с самого архипелага Новая Земля, так и за счет пресноводного стока с востока и баренцевоморского поступления с севера и юга.

Поверхностная вода уже в ХПС приобретает высокие значения солености (34.5 епс), которые лишь немного увеличиваются с глубиной (34.7 епс). Другие, в частности гидрохимические параметры, отличались большей изменчивостью, особенно в верхних 100 м (табл. 2, рис. 2) [10]. Поверхностные воды отличались высоким насыщением кислорода, но имели низкое содержание биогенных элементов, за исключением кремния и рН, величины которых были самыми высокими в этом районе. В подповерхностных водах, в слое термоклина и ХПС, содержание растворенного кремния резко падало, постепенно возрастая ко дну (рис. 2–3). Судя по распределению кремния на этом разрезе (рис. 1), и другим гидрохимическим параметрам, полученным на соседних станциях [10], самая глубоководная ст. 4968 является граничной между водами западной и восточной частей впадины.

В период исследований у восточного побережья Новой Земли была обнаружена поверхностная линза сильно опресненных вод с соленостью в ядре менее 18 епс, температурой $4.5-4.9^{\circ}C$ и площадью 19 тыс. км² [5]. Линза образовалась в июне в

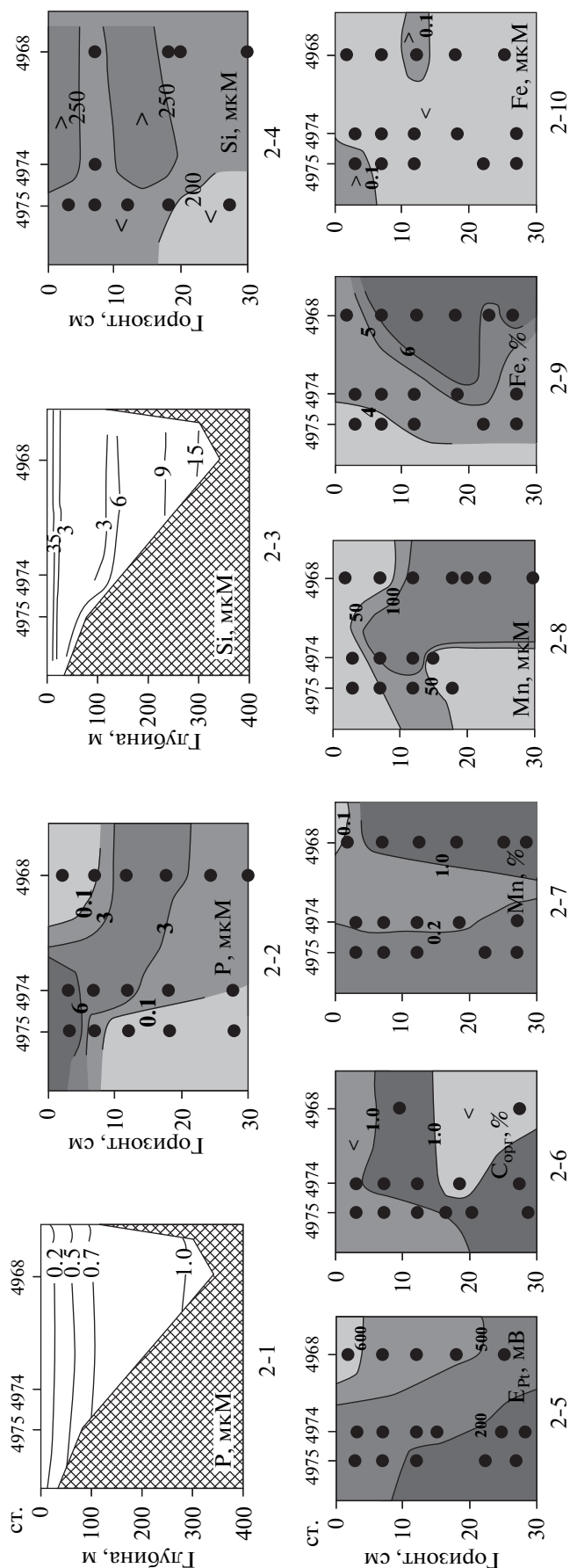


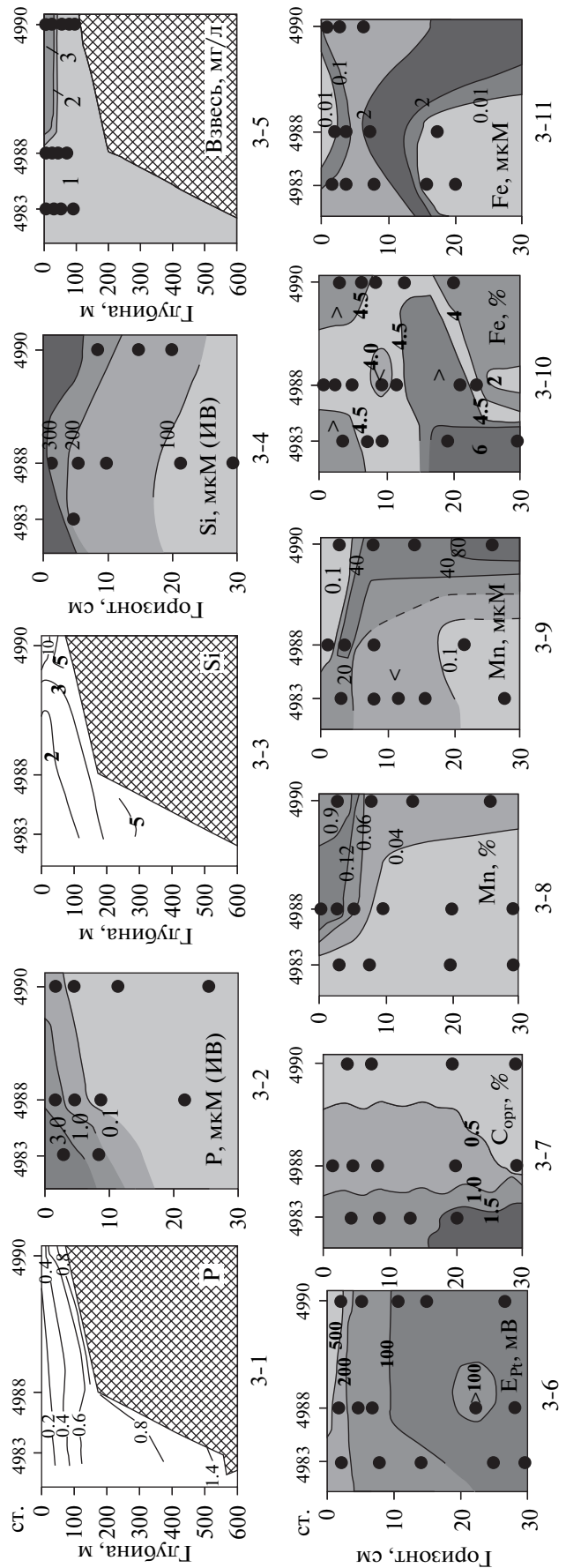
Таблица 2. Химические характеристики морской воды в районе Новой Земли и желоба Св. Анны

Компонент	Район Новой земли			Район желоба Святой Анны		
	ст. 4975, гл. 62 м	ст. 4974, гл. 170 м	ст. 4968, гл. 355 м	ст. 4983, гл. 555 м	ст. 4988, гл. 183 м	ст. 4990, гл. 128 м
Соленость, ‰	16.6 (2 м) 32.4 (15 м) 34.5 (60 м)	15.1 (3 м) 31.0 (15 м) 34.6 (135 м)	15.7 (2 м) 33.2 (20 м) 34.7 (350 м)	34.3 (2 м) 34.8 (200 м) 34.9 (528 м)	33.8 (2 м) 34.4 (82 м) 34.8 (178 м)	26.3 (2 м) 33.6 (33 м) 34.3 (111 м)
O ₂ мл/л (% насыщения)	8.05 (98.9) – 2 м 7.19 (86.9) – 60 м	8.01 (98.6) – 3 м 7.25 (86.8) – 135 м	8.18 (100.8) – 3 м 8.09 (106.0) – 20 м 6.41 (76.3) – 350 м	7.74 (101.2) – 2 м 7.37 (90.5) – 200 м 7.07 (88.3) – 528 м	7.51 (98.7) – 2 м 7.61 (92.1) – 82 м 7.64 (95.3) – 178 м	8.04 (98.5) – 2 м 7.85 (92.4) – 33 м 6.92 (83.5) – 111 м
pH	8.07 (2 м) 8.06 (60 м)	8.05 (3 м) 8.03 (135 м)	8.09 (2 м) 8.17 (20 м) 7.98 (350 м)	8.22 (2 м) 8.07 (200 м) 7.96 (528 м)	8.16 (2 м) 8.10 (82 м) 8.11 (178 м)	8.10 (2 м) 8.10 (33 м) 8.01 (111 м)
Alk (HCO ₃ ⁻), мМ	1.58 (2 м) 2.36 (60 м)	1.55 (3 м) 2.40 (135 м)	1.53 (2 м) 2.37 (350 м)	2.34 (2 м) 2.37 (200 м) 2.37 (528 м)	2.31 (2 м) 2.35 (82 м) 2.37 (178 м)	2.00 (2 м) 2.31 (33 м) 2.34 (111 м)
N-NO ₃ ⁻ , мкМ	0.34 (2 м) 6.8 (60 м)	0.55 (3 м) 12.9 (135 м)	0.45 (2 м) 10.13 (350 м)	1.60 (2 м) 10.59 (200 м) 10.15 (528 м)	1.26 (2 м) 4.69 (82 м) 4.97 (178 м)	1.51 (2 м) 4.11 (33 м) 9.08 (111 м)
P-HPO ₄ ²⁻ , мкМ	0.13 (2 м) 0.77 (60 м)	0.12 (3 м) 0.88 (135 м)	0.13 (2 м) 1.05 (350 м)	0.19 (2 м) 0.74 (200 м) 1.40 (528 м)	0.20 (2 м) 0.53 (82 м) 0.59 (178 м)	0.29 (2 м) 0.50 (33 м) 0.80 (111 м)
Si – H ₄ SiO ₄ , мкМ	36.9 (2 м) 7.4 (60 м)	38.1 (3 м) 8.37 (135 м)	36.7 (2 м) 1.53 (20 м) 16.6 (350 м)	1.03 (2 м) 3.68 (200 м) 6.54 (528 м)	1.18 (2 м) 3.39 (82 м) 3.27 (178 м)	17.5 (2 м) 3.6 (33 м) 8.1 (111 м)

Рис. 3. Геохимические параметры морской воды и донных осадков желоба Святой Анны (южная часть): растворенные неорганические формы фосфора ($P-PO_4^{3-}$) и кремния ($Si-SiO_4^{4-}$) в морской и иловой воде (мкМ) – 3-1, 3-3 и 3-2, 3-4 соответственно, взвесь в морской воде (мг/л) – 3-5, E_{Pt} (мВ) – 3-6, $C_{орг}$ – 3-7 в донных осадках (% с.в.), марганец – 3-8, 3-9 и железо – 3-10, 3-12 в донных осадках (% с.в.) и в иловой воде (мкМ) соответственно.

период паводков Оби и Енисея и была перенесена под действием северо-восточных ветров к Новой Земле. В линзе преобладали енисейские воды, сток которых более чем в два раза превышает сток Оби, что и было подтверждено результатами анализа соотношений солёности, щёлочности и растворенного кремния [10]. Верхняя однородная часть линзы (8–15 м) подстилалась 2–3-х метровым высокоградиентным слоем с перепадом солёности 4.5–6.2 епс и температуры 1.4–2.4°C на 1 м. В этом слое, как видно из приведенных ранее данных, концентрация растворенного кремния снижалась более, чем на порядок (табл. 2, рис. 2–3). Биологические исследования [11, 17] показали неоднородность линзы, в верхней части которой преобладали диатомовые водоросли, обеспечивающие высокие величины численности, биомассы и хлорофилла “а” (хл “а”), в нижней части, где преобладали динофлагелляты, соответствующие показатели были в 2–3 раза ниже. Высокие концентрации растворенного кремния в линзе и его почти полное отсутствие под ней могут свидетельствовать о весьма активном биогеохимическом круговороте кремния между водой и планктоном, содержащим кремний.

Весьма четко границу между поверхностными распресненными водами Восточно-Новоземельского течения и распространяющимися с севера баренцевоморскими водами фиксируют оптические методы, согласно которым интенсивность флуоресценции растворенного ОВ в северных водах уменьшается в 2–4 раза, а интенсивность флуоресценции хл “а” в 4–10 раз [2]. Определение алифатических углеводородов (АУВ) в открытых водах Карского моря дает весьма низкие концентрации (8 мкг/л), только при приближении к берегу в заливе Благополучия содержание этих компонентов повышается до 27.8 мкг/л [12], что очевидно связано с влиянием опресненной линзы. Измерения осадочного вещества вблизи восточного склона НЗВ (глубина моря 130 м), проведенные ранее с помощью седиментационных ловушек, дают представление о потоках осадочного вещества на горизонтах 60 и 100 м (25 и 52.8 мг/м² в сутки соответственно, при этом потоки $C_{орг}$ составили соответственно 5.54 и 0.04 мг С/м² в сутки) [9]. Основную часть осадочного вещества составляют pellets планктона, при этом величина f , выражающая долю новой продукции от общей пер-



вичной продукции, составила 0.05, что характерно для олиготрофных водоемов, к числу которых принадлежит Карское море.

Донные отложения НЗВ представлены в основном алевритово-пелитовыми илами с низким содержанием CaCO_3 (табл. 1). В осевой глубоководной части котловины (ст. 4968, глубина 355 м) на поверхности отмечен коричневатый окисленный слой (до полуметра), более мощный, чем на других станциях Карского моря [13, 14]. Величина E_p в нем была самой высокой (более 600 мВ) среди измеренных в поверхностных осадках Карского моря. В нем обнаруживаются железомарганцевые микроконкреции, а в нижней части окисленных осадков находится более темный прослой (38–41 см), обогащенный марганцем и железом как в осадке (до 3 и 8–9%), так и в иловой воде (более 100 и 1.2–1.8 мкМ соответственно), с коричневыми очень плотными комками в нижележащем светло-сером иле (50–58 см). Очевидное восстановление (резкое снижение E_p) и переход части Mn и Fe в раствор иловой воды ведет к разрушению окисленного слоя (комки) и перераспределению Mn и Fe по профилю осадков. Диагенетическое происхождение горизонтов с повышенными концентрациями окисленных форм марганца и железа подтверждается их взаимным расположением: максимум марганца в иловой воде над максимумом железа (табл. 1). Менее яркое перераспределение имеет место и в других горизонтах окисленного слоя, а также в нижележащих восстановленных осадках и в верхнеплейстоценовых отложениях, что свидетельствует о заметной неравномерности поступления осадочного вещества и процессов диагенеза.

Условно границу между осадками голоцена и верхнего плейстоцена можно провести по заметному огрублению осадочного материала, появлению прослоев гальки, уплотнению и уменьшению влажности (до 35%), что позволило приписать этим отложениям название “сухих глин” [7]. Их происхождение связывается с перестройкой придонной циркуляции в период дегляциации и перехода к голоцену [6]. Содержание железа в восстановленных осадках продолжает оставаться высоким (6–7% на осевой ст. 4968, 80–150 см), в более глубоких горизонтах верхнего плейстоцена (250 см) оно падает до менее 4%. Содержание марганца опускается до фоновых значений (0.05%) уже на горизонте 96–126 см, хотя и на более глубоких горизонтах имеют место осадки с более высоким содержанием как марганца, так и железа (табл. 1). Сходные тенденции имеют место на шельфовых станциях (табл. 1, рис. 2). Содержание марганца в иловых водах также более-менее равномерно уменьшается по профилю колонки осадков, содержание железа обнаруживает резкие скачки, которые можно связать с неравномерным поступлением осадочного материала.

Содержание $C_{орг}$ в поверхностных осадках достигает 1%, что обеспечивает восстановительный фон нижележащих отложений. Главной характеристикой этого фона является формирование редокс-стратификации в термодинамической последовательности окислителей ОВ: кислород, нитраты, оксигидроксиды марганца, железа, сульфаты, уголекислота [14]. На 80 см и глубже отмечаются черные примазки гидротроилита при этом содержание $C_{орг}$ уменьшается по профилю осадков желоба в пределах приблизительно 2 м до 0.4% (табл. 1, рис. 2), а в донных осадках, как правило, образуются неорганические продукты восстановительного процесса: CO_2 , N_2 , Mn^{2+} , Fe^{2+} , S^{2-} , CH_4 . Состав остаточного ОВ также изменяется: по данным определений АУВ при переходе от поверхностных окисленных осадков к более глубоким восстановленным происходит изменение концентрации углеводородов в составе ОВ, которая уменьшается быстрее, чем концентрация остального ОВ [12]. Для нижних горизонтов осадков глубоководной ст. 4968 (223–232 см) отмечен скачок $C_{орг}$ (1.05%), сопряженный с повышением содержания растворенного железа в иловых водах вышележащих горизонтов (табл. 1). В поверхностных горизонтах глубоководных осадков, как и в других осадках Карского моря, присутствует метан в количествах нескольких десятков мкл/л, в осадках южных районов моря концентрации метана могут достигать сотен мкл/л. В придонной воде концентрация метана близка к 1 мкл/л, что связано с его окислением в пограничном слое вода–осадок [15].

На ст. 4974, расположенной на склоне котловины (170 м) (табл. 1, рис. 2), окисленный слой имеет заметно меньшую мощность (20 см), охристые примазки в нижней части свидетельствуют о “железной” стадии редокса. На шельфе, примыкающей к котловине (ст. 4975, гл. 58 м), размеры окисленного слоя уменьшены до 5 см (табл. 1), а преобладание серого и даже черного цветов в осадках свидетельствует о сульфатредукции. Прямые определения сульфидной серы в донных отложениях глубоководной ст. 4968 указывают на появление уже в подповерхностных горизонтах гидротроилита, образующегося точно вокруг органических частиц детрита.

Содержание фосфора (0.01–8.5 мкМ в иловых водах НЗВ, 0.1–35 мкМ в иловых водах шельфа) и кремния (90–371 мкМ и 131–499 мкМ соответственно) весьма неодинаково даже на достаточно близких станциях (табл. 1, рис. 2-2 и 2-4). Фосфор обнаруживает максимальные концентрации в иловых водах поверхностных осадков шельфа, достигающие 35 мкМ (ст. 4974) и 6 мкМ (ст. 4975). В то же время в поверхностных осадках осевой глубоководной станции котловины (ст. 4968) эти концентрации составляют 0.10–0.35 мкМ за счет деградации основной массы остатков планктона в

водной толще. В соответствии с этим потоки фосфора на шельфе направлены из осадков в придонную воду, где концентрация растворенных фосфатов менее 0.7 мкМ, на дне котловины — наоборот: из морской воды в осадки. В более глубоких слоях осадков картина меняется: на шельфе у берега концентрации фосфатов в иловой воде уменьшаются почти до нулевых значений (ст. 4575), в котловине в пределах окисленного слоя растут (до 8.52 мкМ на 50–58 см), затем неравномерно уменьшаются. Подобная неравномерность распределения концентрации фосфатов, связанная с различиями глубин, неодинаковостью состава осадков и возможным влиянием зообентоса (табл. 1), может служить причиной диагенетического круговорота вещества в осадочной толще. Периодический привнос пресноводного, богатого кремнием биогенного материала в шельфовую зону служит дополнительным источником кремния в донных осадках. Содержание растворенного кремния в иловых водах максимально в поверхностных осадках шельфа (499 мкМ на ст. 4974), всюду с глубиной оно уменьшается так же неравномерно, как и в случае фосфора. Минимальное значение зафиксировано в плейстоценовых осадках глубоководной котловины на горизонте 223–232 см. Максимальные концентрации поверхностного слоя обеспечивают стабильные потоки растворенного кремния из осадков в придонную воду.

Желоб Святой Анны в районе северной оконечности Новой Земли соединяет Северный Ледовитый океан (СЛО) с Карским морем почти меридионально (рис. 1), его глубина в южной части достигает 550 м. По гидрологии, биологии и геохимии ЖСА отличается от собственно Карского моря, находящегося под сильным влиянием речного стока. Он отделен от НЗВ и южной части Карского моря порогом глубиной около 100 м, над которым встречаются два разнонаправленных течения: течения ЖСА из Арктики на юго-восток вдоль западного склона желоба и Восточно-Новоземельского (ВНЗ) течения, направленного на северо-восток [5]. У восточной оконечности Новой Земли эти течения расходятся: течение ЖСА разворачивается к северо-западу и уходит обратно в Арктику вдоль восточного склона желоба, а ВНЗ течение распространяется дальше на восток. Оба течения являются весьма интенсивными (50 см/с и более), и их взаимодействие носит “турбулентный” характер, вызывающий образование линз, вихрей и filamentов, что может обеспечить проникновение и обмен осадочного вещества, включая планктон, между ЖСА и НЗВ. Вся глубинная часть ЖСА заполнена водой с соленостью 35 епс, имеющей атлантическое происхождение, основной механизм вертикального перемешивания глубинных вод — дифференциально-диффузионная конвекция. Более теплая (>1°C) и менее соленая поверхностная вода (34.4 епс) приносится циклоническим течением,

опоясывающим желоб вдоль склонов над изобатами 200–300 м. Сильные течения приводят к отсутствию вдоль склонов илистых отложений и наличию сестонофагов — животных, питающихся взвесью из водного потока [5]. Это наиболее холодный район Карского моря, его поверхность только два месяца в году свободна ото льда. Ядро наиболее холодной воды желоба в ХПС залегает на глубине 150–200 м.

К югу от ст. 4988 (рис. 1) приблизительно на 76° с.ш. находится фронтальная зона, отделяющая поступление речных вод с юга на север, что сопровождается резкими градиентами гидрохимических параметров по глубине. В северной мористой части исследованного района (ст. 4983) распределение химических элементов имеет ровный малоградиентный характер (табл. 2) [10]. Такой важный фактор осадконакопления как первичная продукция (ПП), величина которой зависит от физических (соленость, температура, прозрачность) и химических параметров (биогенные элементы), резко изменяется во фронтальной зоне. Известны концентрации растворенных в морской воде нитратов (3 мкМ), фосфатов (0.5 мкМ), кремния (10 мкМ), лимитирующие при низкой температуре развитие планктона [11]. Только содержание кремния в поверхностной воде южной части желоба (ст. 4990, табл. 2) достаточно, чтобы не ограничивать продуктивность. Интегральная ПП падает от почти 100 до 44.1 мг С/м² в день на ст. 4990, где соленость уменьшается под влиянием распресненных вод Карского моря. Интересно, что при этом в эвфотическом слое отмечается заметная концентрация хл “а” (0.667 мг/м³), которая при низкой активности фотосинтеза (ассимиляционные числа при более низких температурах падают до 0.22 мг С/мг хл в час) не приводит к увеличению ПП [11]. Низкий уровень ПП планктона ограничивает развитие бактериальной продукции: потребности бактерий в углероде в 2.3–7.7 раза превышали полученные величины создаваемого водорослями органического вещества (ОВ) [16]. Концентрации химических компонентов в придонной воде ЖСА (табл. 2) отвечают характеристикам баренцевоморских вод.

Среди других параметров водной толщи отмечается весьма низкое содержание взвеси, концентрации которой падают до менее 0.2–0.3 мг/л. Интенсивность флуоресценции хл “а”, согласно оптическим данным, уменьшена более, чем в 10 раз, флуоресценции растворенного органического вещества (РОВ) — более, чем в 2 раза по сравнению с южными районами Карского моря [2]. В северной глубоководной части ЖСА вода беднее по содержанию ОВ, здесь концентрации ОВ близки к среднему содержанию в морях Арктики [1]. На ст. 4983 выявлены минимальные для всего Карского моря концентрации растворенного органического углерода (РОУ) (0.94 и 0.84 мг С/л на глу-

бинах 61 и 200 м соответственно) и взвешенного органического углерода (ВОУ) (17.2 мкг С/л на 200 м). В то же время на фоне низкого содержания взвеси в ее составе в поверхностном слое на всех станциях ЖСА обнаружены повышенные содержания ОВ, больше всего на ст. 4983 (43.9% $C_{орг}$ при содержании взвеси 0.23 мг/л). В виду удаленности ЖСА от районов выноса ОВ и низкой продуктивности района этот феномен хотя и кажется странным, но позволяет предположить автохтонный характер его происхождения [1]. С другой стороны более вероятным объяснением может быть высокая “турбулентность” района и занос органической взвеси из района НЗВ. Концентрация ВОУ в придонном горизонте составляет 106 мкг С/л, что предполагает существование в ЖСА нефелоидного слоя [1].

ЖСА, протянувшийся от 77° с.ш. до 82° с.ш., является доминирующей геофизической структурой северо-западной части Карского моря. Расположенный между северным островом Новой Земли, архипелагом Земли Франца-Иосифа и Северо-Карским поднятием, ЖСА питается осадочным материалом от этих структур за счет абразии берегов, подземного стока, таяния льдов и других источников, в общем виде рассмотренных нами ранее [13, 14]. Влияние стока сибирских рек сказывается минимально, да и то лишь применительно к тонкопелитовому материалу [7]. Донные отложения ЖСА представлены алевритово-пелитовыми илами с примесью песка и даже гравия, доля которых увеличивается в прилегающих районах шельфа (табл. 1, рис. 1). Исследованные осадки относятся к морскому голоценовому возрасту с заметным укрупнением осадочного материала в низах изученных колонок (вплоть до гальки на 2 м горизонте осадков ст. 4983) на границе с верхним плейстоценом. Осадки ЖСА являются практически бескарбонатными, содержание $CaCO_3$, представленное раковинным детритом двустворчатых моллюсков, не превышает 3% в осадках ложа, в прилегающих шельфовых осадках оно не выходит за рамки 2% (табл. 1). Доминирующая в исследуемой части желоба каолинит-хлорит-иллит-сметитовая ассоциация глинистых минералов [6], будучи наиболее реакционноспособной в постседиментационных процессах, играет ключевую роль в перераспределении марганца и железа в раннем диагенезе.

Поверхностные полужидкие донные отложения южной части ЖСА несмотря на обилие кислорода в наддонной воде несут явные признаки восстановленности как по цвету (коричнево-серые), так и по значениям окислительно-восстановительного потенциала ($E_{pt} + 310$ мВ в слое 0–4 см, ст. 4983, глубина 550 м, табл. 1, рис. 3). Они полны зообентоса и имеют высокое содержание ОВ ($C_{орг}$ 1.49%). Осадок быстро уплотняется, становится комковатым, на 10 см появляются охристые включения ($E_{pt} + 150$ мВ) – очевидный признак работы

полихет, прокачивающих кислородную морскую воду в низы поверхностного слоя. На 20 см в осадке обнаруживаются максимальные содержания железа (6.79%) и ОВ ($C_{орг}$ 1.67%), появляются темные пятна гидротроилита, количество которого, судя по усилению пятнистости, увеличивается вглубь по профилю, осадок становится газонасыщенным (каверны, заполненные метаном) [15]. Глубже в осадочной толще обнаруживается более светлый обводненный слой (179–184 см) с элементами охристости за счет адвективной подпитки кислородной водой. Лежащая под ним очень плотная темно-серая глина с включениями гальки очевидно является свидетелем изменения условий осадконакопления от ледниково-морских к морским [6, 7]. Наличие и исчезновение коричневого цвета (MnO_2) в поверхностных горизонтах, появление охристых включений ($FeOOH$) под ними, захватывающие более глубокие горизонты сульфатредукция (формирование темных пятен гидротроилита) и метанообразование [15] составляют единую картину преобразования ОВ, рассмотренную ранее.

Наиболее важным для осадконакопления и диагенеза в южной части ЖСА (ст. 4983) нам представляется увеличенное количество ОВ в осадках, достигающее по нашим данным 1.4, по другим – 2.1% $C_{орг}$ [1]. Источником столь высокого поступления ОВ в условиях отмеченной ранее низкой ПП района и удаленности от береговой продукции, по нашему мнению, может ВНЗ течение, которое содержит импульсные выбросы (линзы) воды с высокой или относительно высокой продуктивностью из южных районов Карского моря [17], рассмотренные нами ранее для НЗВ. На этом фоне реализуется распределение железа, марганца и других химических компонентов, связанных с редокс-процессами в донных осадках. Подробное рассмотрение колонки осадков ст. 4983 позволяет более обоснованно охарактеризовать геохимические черты морского голоценового (последние 10 тыс. лет) и предшествовавшего ледниково-морского (верхний плейстоцен 13.3–10 тыс. лет) этапов осадконакопления. По данным колонки ст. 4983 граница между ними проходит на уровне приблизительно 200 см, где донные отложения гранулометрически становятся более грубыми (галька), а содержание $C_{орг}$ снижается до 0.5% (табл. 1). По данным радиоуглеродных датировок эта граница находится приблизительно на 400 см в осадках южных станций желоба и 40 см на северных [6]. Содержание железа, составляющее 4.2–4.5% в верхней части колонки, в нижних плейстоценовых горизонтах падает до менее 3%. Заметим, что более высокое (6.8%) и более низкое (3.7%) содержание железа в сопряженных горизонтах голоценовой части колонки можно объяснить не только изменением объемов поступления осадочного материала, но и диагенетиче-

ским перераспределением железа в органо-газо-насыщенных осадках (20–90 см), в которых также отмечен скачок содержания железа в иловой воде (4.8 мМ). С диагенетическим переходом в раствор на фоне высокого содержания ОВ и удалением из осадка в придонную воду марганца связано и более низкое его содержание в верхней пачке осадков (0.04%). В иловой воде лишь в поверхностном слое осадков имеет место увеличение концентрации марганца (22.6 мкМ), способное обеспечить поток марганца из осадков в придонную воду. Последнее касается также потоков растворенных фосфора и кремния из осадков за счет значительно более высоких концентраций в иловой воде поверхностного слоя донных отложений (4.0 и 320 мкМ соответственно) по сравнению с концентрациями в глубинной морской воде (табл. 1, 2, рис. 3).

Нижние горизонты редокс-слоя занимают микробиологические анаэробные процессы сульфатредукции и метанообразования, но в условиях повышенного содержания ОВ и неомогенности осадков, особенно в отношении органических частиц, эти процессы, и в первую очередь сульфатредукция, часто, как уже отмечалось, начинаются в поверхностных горизонтах, сначала в “микронизмах”, постепенно захватывая более глубокие горизонты осадка. В донных отложениях ЖСА интенсивность сульфатредукции увеличивается вглубь по профилю осадков до $68.0 \text{ мкг S дм}^{-3} \text{ сут}^{-1}$ на 150–160 см [15], при этом содержание восстановленной серы, по нашим данным, достигает 0.325%. Это самая высокая величина содержания восстановленной серы, производной сероводорода (ΣS_{H_2S}), зафиксированная нами в голоценовых отложениях Карского моря.

Цикл метана в Карском море включает не только донные отложения, но и водную толщу, где бактериальный метаногенез (МГ) имеет место на взвешенном материале в анаэробных микронизмах. В донных отложениях ст. 4983 МГ наиболее полно выражен на горизонтах ниже 20–30 см (табл. 1), подстилающих охристые включения, причем образующийся метан формирует каверны на всю глубину голоценовой пачки осадков с максимальной величиной МГ ($256 \text{ нл CH}_4 \text{ дм}^{-3} \text{ сут}^{-1}$) на горизонте 80–90 см [15]. Обращает внимание, что столь высокие показатели микробиологической активности отмечены в области наиболее низких температур и биологической продуктивности.

Геохимические особенности донных отложений в шельфовых областях, примыкающих к ЖСА, отражают как осадконакопление в глубоководной части, так и влияние пограничных районов, расположенных к югу от ст. 4990. Это мягкий коричневый илистый осадок на поверхности, постепенное уплотнение, комки и охристые включения под ним, почернение более глубоких горизонтов, наличие прослоев алеврита и формирование очень

плотных, почти обезвоженных темно-серых глин в низах исследованных грунтов (приблизительно на 100 см, ст. 4988, табл. 1). В них резко понижено содержание литогенных элементов (алюминий, железо, марганец). Повышенные концентрации в иловых водах наблюдались лишь в верхних горизонтах (табл. 1). Эти очевидные признаки перехода к плейстоценовым осадкам в верхней толще отложений почти исчезают по мере удаления от желоба (к югу от ст. 4990).

Весьма информативные геохимические сведения представляют результаты определения микрометаллов в донных отложениях (табл. 3). Микрометаллы, как правило, не образуют собственных минеральных фаз в морских осадках, но входят в структуры обломочных и глинистых минералов, оксигидроксидов железа и марганца или сульфидов железа [3, 4]. В последнем случае речь идет о сульфатредукции, и если содержание реакционноспособного железа недостаточно, чтобы связать весь возникающий при сульфатредукции сероводород, то он остается в свободном состоянии, обуславливая характерный запах осадков. Появление свободного сероводорода не зафиксировано в исследованных районах в отличие от других районов Карского моря [8].

Содержание микрометаллов в донных осадках характеризуется заметным разбросом, связанным с неравномерным поступлением осадочного материала из различных источников, а также с влиянием постседиментационных процессов окислительной (охристые примазки) или восстановительной (сульфатредукция) направленности. Зарегистрированные интервалы концентраций (в $10^{-4}\%$ в расчете на сухое вещество осадков НЗВ, табл. 3) составляют для Cu 25–48 (50), для Zn 67–107 (90), для Ni 32–85 (70), для Pb 12–61 (20), для Co 4–7 (10), для Cd <0.05 –0.32 (0.8), для Cr 105–150 (90), в скобках приведены фоновые концентрации для осадочных пород [4]. Соответствующие интервалы для осадков ЖСА составляют: для Cu 11–37, для Zn 43–56, для Ni 18–25, для Pb 10–26, для Co 8–12, для Cd <0.05 –0.4, для Cr 64–174.

Более подробное рассмотрение микрометаллов позволяет выделить обогащение верхнего окисленного слоя железом и марганцем в донных отложениях НЗВ (табл. 3, ст. 4968, 0–50 см): Fe до 9%, Mn до 3%. Другие компоненты, особенно Cu и Pb, явно тяготеют к нижележащим восстановленным осадкам с сульфидами. Нижние горизонты, приписываемые верхнему плейстоцену (250–345 см), имеют более низкие концентрации всех исследованных металлов. В шельфовых осадках областей, примыкающих к НЗВ, окисленный слой существенно меньше (20 см на ст. 4974 и 5 см на ст. 4975), но различия в концентрациях металлов не столь очевидны за исключением Cu, кото-

Таблица 3. Металлы в донных отложениях Новоземельской впадины и желоба Св. Анны ($10^{-4}\%$)

Орудие отбора	Горизонт, см	Cu	Zn	Ni	Pb	Co	Cd	Cr
Новоземельская впадина, в районе залива Благополучия								
Станция 4968, глубина 360 м								
ТН	0–1	27.4	84	47	21.8	9.6	0.74	123
	5–10	28.8	118	47	27.3	10.4	<0.05	149
ТБД	10–15	29.3	97	47	27.0	10.0	<0.05	94
	15–20	31.5	116	45	23.1	10.7	<0.05	138
	20–25	28.3	101	47	27.6	10.6	0.13	107
	25–35	32.2	109	63	37.7	8.4	<0.05	77
	35–47	32.0	123	85	61.0	11.4	0.32	70
	50–58	27.9	106	68	32.7	7.8	<0.05	46
	82–86	47.0	125	65	28.2	14.0	0.31	83
	96–125	42.6	136	70	37.8	12.2	0.25	105
	141–153	48.0	110	59	34.1	14.0	0.21	110
	153–170	36.4	105	55	30.7	13.1	<0.05	110
	200–223	30.5	112	46	17.7	11.5	<0.05	97
	223–232	28.5	111	44	16.0	11.2	0.15	94
	272–304	19.9	74	40	16.6	9.5	<0.05	65
	324–345	25.8	80	38	14.4	9.6	0.14	73
Станция 4974, глубина 170 м								
Дч	0–5	28.3	91	43	18.8	9.2	0.13	118
	5–10	27.0	94	40	15.2	8.3	0.20	125
	10–15	28.0	111	43	26.0	7.9	<0.05	160
ТБД	10–15	27.8	100	40	19.2	9.4	<0.05	142
	25–32	30.0	94	39	14.4	8.8	<0.05	143
	32–61	31.2	64	40	13.9	4.7	0.15	142
	60–85	37.2	96	41	18.5	7.5	0.11	116
Станция 4975, глубина 58 м								
Дч	0–5	25.7	107	33	12.8	6.5	<0.05	106
	5–10	24.6	78	32	12.0	6.6	<0.05	108
	10–15	26.0	89	33	12.6	7.5	0.14	119
ТБД	10–24	26.3	83	35	12.9	7.7	0.06	123
	24–42	36.4	67	40	14.4	4.3	<0.05	120
	42–59	28.4	82	36	13.3	6.6	0.05	153
Желоб Святой Анны								
Станция 4983, глубина 550 м								
ТН	1–8	27.7	138	41	13.2	13.4	0.45	118
ТБД	5–9	27.2	94	40	13.6	12.2	0.28	152
	9–13	27.4	91	40	13.3	11.7	0.30	142
	20–30	29.4	97	41	13.5	11.9	0.24	158
	80–90	26.5	90	40	14.0	11.0	0.44	174
	115–125	25.9	93	42	13.9	11.3	0.31	126
	150–160	25.8	96	39	14.2	10.7	0.25	139
	179–184	25.3	85	37	18.8	10.4	0.18	138
	184–206	18.6	56	25	11.9	8.5	0.17	139

Таблица 3. Окончание

Орудие отбора	Горизонт, см	Cu	Zn	Ni	Pb	Co	Cd	Cr
Станция 4988, глубина 180 м								
Дч	0–2	17.6	76	30.0	12.9	9.8	<0.05	112
	2–5	15.9	75	28.6	12.7	10.4	0.10	108
	5–10	17.2	80	35.6	12.1	10.7	0.03	128
ТБД	10–22	15.2	61	24	13.1	8.4	0.17	104
	22–33	11.4	44	19.5	7.5	7.2	0.08	90
	33–45	16.5	61	26.8	12.7	9.7	0.10	115
	70–80	17.6	52	24.7	11.5	8.2	<0.05	98
	90–100	15.8	118	23.7	12.8	7.9	<0.05	98
	106–123	17.0	60	26.0	11.5	7.1	0.05	120
Станция 4990, глубина 114 м								
ТН	0–3	21.2	74	42.7	20.9	8.7	0.08	102
	3–8	25.2	88	45.5	17.7	11.4	0.31	155
	8–15	24.7	80	41.2	16.7	11.5	0.17	120
ТБД	20–40	23.3	77	43.7	19.6	10.0	0.27	114
	40–105	27.3	83	44.5	18.5	10.9	0.30	142
	105–123	34.8	86	54.2	22.3	–	0.10	132
	123–170	37.6	90	55.0	22.4	10.3	<0.05	130
	170–186	34.8	80	54.5	25.6	9.1	<0.05	104
	196–206	18.8	57	26.5	11.4	10.0	<0.05	76
	206–216	17.5	48	22.5	10.0	8.9	0.13	68
	222–235	12.1	43	20.7	9.6	9.2	0.10	64

Примечание. Al, Fe и Mn см. табл. 1.

рая тяготеет к восстановленным осадкам с сульфидами (табл. 1 и 3).

Донные отложения ЖСА в глубоководной области (ст. 4983, глубина 550 м) имеют более тонкий окисленный слой (4 см), чем окисленный слой в НЗВ (50 см), и существенно меньшие концентрации Fe и Mn (4.6 и 0.112%). В нижележащих горизонтах (200 см) содержание Fe падает до 3, а Mn до 0.04% (табл. 1). Содержание микроэлементов также более низкое как в окисленном слое, так и в нижележащих горизонтах (табл. 3), что можно объяснить их меньшим поступлением, связанным с большей изолированностью ЖСА от Карского моря по сравнению с НЗВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Северо-западные глубоководные депрессии Карского моря, НЗВ и ЖСА, удалены от главных источников поступления осадочного материала, приносимого сибирскими реками Обью и Енисеем. Фронтальная зона, ограниченная южным склоном ЖСА, препятствует проникновению распресненных вод в северную часть Карского моря. Своеобразие осадконакопления в этом районе определяется сложной и весьма активной гидродинамикой Восточно-Новоземельского течения, поступающего с юга, и течения желоба Святой Анны, несущего во-

ды Арктики. Несмотря на существование гидродинамической фронтальной зоны над порогом, разделяющим впадину и желоб, нельзя исключить взаимодействие их водных масс и обмен осадочным веществом, включая абразию берегов Новой Земли, а также флору и фауну Карского моря и Арктики. Гидрохимические особенности впадин характеризуются различиями не только поверхностных, но и глубинных вод, особенно в отношении кислорода и кремнекислоты. Будучи ультраолиготрофными в отношении биологической продуктивности, районы глубоководных впадин различаются эпизодическими всплесками повышенной продукции в НЗВ и повышенного поступления ОВ в донные осадки ЖСА. Стратификация донных отложений отражает не только изменение режима осадконакопления в верхнем плейстоцене и голоцене, но и влияние диагенетических редокс-процессов на перераспределение химических элементов.

Наиболее характерной особенностью глубоководных донных отложений НЗВ в районе залива Благополучия является существование на поверхности почти полуметрового окисленного слоя, обогащенного марганцем (до 2.9%) и железом (до 9.4%). Этому способствует замкнутость глубоководной части впадины, способствующая сохранению этих элементов в поверхностном слое осадков. По-

добные условия отсутствуют в южной части ЖСА, где повышенное содержание ОВ приводит к выходу марганца и отчасти железа из осадков на фоне более активной гидродинамики придонной воды и переносу этих элементов в водной толще.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-00494) и РНФ (проект № 14-50-00095, обработка материалов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев Н.А., Пересыпкин В.И., Поняев М.С.* Органический углерод воды, взвеси и верхнего слоя донных осадков западной части Карского моря // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 748–757.
2. *Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Кравчишина М.Д.* Распределение концентрации взвеси в Карском море в сентябре 2007 г. по судовым и спутниковым данным // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 842–849.
3. *Гурвич Е.Г., Исаева А.Б., Демина Л.Л. и др.* Химический состав донных осадков Карского моря и эстуариев Оби и Енисея // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 766–775.
4. *Демина Л.Л., Левитан М.А., Политова Н.В.* О формах нахождения некоторых тяжелых металлов в донных осадках эстуарных зон рек Оби и Енисея // *Геохимия*. 2006. № 2. С. 212–226.
5. *Зацепин А.Г., Морозов Е.Г., Пака В.Т. и др.* Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г. // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 683–697.
6. *Левитан М.А., Лаврушин Ю.А., Штайн Р.* Очерки седиментации в Северном Ледовитом океане и морях Субарктики в течение последних 130 тысяч лет. М.: ГЕОС, 2007. 404 с.
7. *Левитан М.А., Хусид Т.А., Купцов В.М. и др.* Типы разрезов верхнечетвертичных отложений Карского моря // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 776–787.
8. *Леин А.Ю., Миллер Ю.М., Намсараев Б.Б. и др.* Биогеохимические процессы цикла серы на ранних стадиях диагенеза осадков на профиле река Енисей – Карское море // *Океанология*. 1995. Т. 34. № 5. С. 681–692.
9. *Лисицын А.П., Шевченко В.П., Виноградов М.Е. и др.* Потоки осадочного вещества в Карском море и в эстуариях Оби и Енисея // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 748–758.
10. *Маккавеев П.Н., Стунжас П.А., Мельникова З.Г. и др.* Гидрохимическая характеристика вод западной части Карского моря // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 730–739.
11. *Мошаров С.А.* Распределение первичной продукции и хлорофилла “а” в Карском море в сентябре 2007 г. // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 6. С. 933–941.
12. *Немировская И.А.* Содержание и состав углеводов в воде, взвеси и донных осадках Карского моря // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 758–770.
13. *Розанов А.Г., Чечко В.А., Кокрятская Н.М.* Редокс профиль донных осадков приустьевых районов реки Обь // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 850–861.
14. *Розанов А.Г.* Геохимия донных отложений Карского моря к западу от п-ва Ямал // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 2. С. 291–300.
15. *Саввичев А.С., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф. и др.* Микробные процессы циклов углерода и серы в Карском море // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 6. С. 942–958.
16. *Сажин А.Ф., Романова Н.Д., Мошаров С.А.* Бактериальная и первичная продукция в водах Карского моря // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 801–808.
17. *Суханова И.Н., Флинт М.В., Сергеева В.М., Кременецкий В.В.* Фитопланктон юго-западной части Карского моря // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 6. С. 1039–1053.
18. *Флинт М.В.* 54-й экспедиционный рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” в Карское море // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 677–682.

Geochemical Features of the Kara Sea Deep-Sea Sediments (Novaya Zemlya Depression and St. Anna Trough)

A. G. Rozanov

Chemistry of the Kara Sea sediments in the Novaya Zemlya Depression and St. Anna Trough is considered in connection with the water dynamics, biological production and lithological stratification. Distribution of Fe, Mn, P, Si and micrometals depend on sedimentation and diagenesis processes.